5Н

УДК 681.511

А.А. Несенчук[1], *В.Ф. Филаретов*[2]
[1]Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь
anes@newman.bas-net.by
[2]Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
filaret@pma.ru

Расчет параметров системы управления второго порядка, удовлетворяющей условиям робастного качества

В статье рассматривается проблема обеспечения робастной устойчивости и робастного качества динамической системы второго порядка при условии интервальной неопределенности коэффициентов ее характеристического уравнения. Задача решается с использованием корневых портретов путем размещения области R корней системы в заданной в плоскости собственных частот области Q желаемого расположения корней.

Введение

Реальные системы автоматического управления (САУ) техническими объектами (роботами, металлорежущими станками, летательными аппаратами и др.) обычно функционируют в условиях существенной параметрической неопределенности, что часто приводит к значительному ухудшению их эксплуатационных характеристик. Поэтому учет возможных вариаций параметров в процессе анализа и синтеза САУ является необходимым. В работе [1] показывается, что указанная проблема может быть решена различными способами. Один из них при линейной зависимости коэффициентов характеристического уравнения системы управления манипулятором от изменяющихся в некоторых интервалах параметров подробно исследован в работе [2].

Целью данной работы является рассмотрение еще одной возможности эффективного решения указанной задачи.

Постановка задачи

Будем полагать, что динамика САУ описывается семейством характеристических уравнений вида

$$s^2 + a_1 s + a_2 = 0, \qquad (1)$$

где $s = \sigma + j\omega$ – комплексная переменная. Коэффициенты (1) действительны и изменяются в интервалах $a_i \in [\underline{a}_i, \overline{a}_i]$, $i = \overline{1, 2}$. Решаются две основные задачи: а) определение фактической (гарантированной) области G расположения корней системы, б) размещение области (семейства) R корней системы в заданной области Q трапецеидальной формы. Для решения указанных задач используется модель системы в форме корневого портрета [3].

Определение фактической области расположения корней системы

Расчет координат точек корневого портрета. С целью решения поставленной задачи, выделив параметр годографа a_2, перепишем уравнение (1) в виде:

$$\phi(s) + a_2\psi(s) = 0, \quad (2)$$

где $\phi(s) = s^2 + a_1 s$ и $\psi(s) = 1$ – полиномы интервального семейства.

Сделав в последнем уравнении замену переменного $s = \sigma + j\omega$, перепишем его относительно параметра годографа:

$$a_2 = f(s) = -\frac{\phi(s)}{\psi(s)} = -(\sigma^2 + a_1\sigma - \omega^2 + j(2\sigma + a_1)\omega). \quad (3)$$

Используя функцию отображения (3), запишем *уравнение корневого годографа* Теодорчика – Эванса [3]:

$$(2\sigma + a_1)\omega = 0$$

и *уравнение параметра* [1]:

$$a_2 = -(\sigma^2 + a_1\sigma - \omega^2)$$

для рассматриваемой интервальной системы, описываемой уравнением (1), которые можно объединить в систему уравнений

$$\begin{cases} (2\sigma + a_1)\omega = 0, \\ a_2 = -(\sigma^2 + a_1\sigma - \omega^2), \end{cases} \quad (4)$$

записанную относительно двух независимых действительных переменных σ и ω.

Первое уравнение системы (4) равносильно двум уравнениям: $2\sigma + a_1 = 0$ и $\omega = 0$. В результате систему (4) можно представить в виде двух систем уравнений:

$$\begin{cases} 2\sigma + a_1 = 0, \\ a_2 = -(\sigma^2 + a_1\sigma - \omega^2), \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \omega = 0, \\ a_2 = -(\sigma^2 + a_1\sigma - \omega^2). \end{cases} \quad (6)$$

Из системы (5) получим выражения для вычисления координат точек корневого годографа в комплексной плоскости:

$$\begin{cases} \sigma = -\dfrac{a_1}{2}, \\ \omega = \pm\sqrt{a_2 - \dfrac{a_1^2}{4}}, \end{cases}$$

а из системы (6) – выражения для вычисления координат точек корневого годографа на действительной оси:

$$\begin{cases} \omega = 0, \\ \sigma = -\dfrac{a_1}{2} \pm \sqrt{-\left(a_2 - \dfrac{a_1^2}{4}\right)}. \end{cases}$$

Таким образом, если $a_2 \geq \frac{a_1^2}{4}$, то система уравнений (5) имеет два решения:

$$\sigma_1 = -\frac{a_1}{2}, \quad \omega_1 = -\sqrt{a_2 - \frac{a_1^2}{4}} \tag{7}$$

и

$$\sigma_2 = -\frac{a_1}{2}, \quad \omega_2 = \sqrt{a_2 - \frac{a_1^2}{4}}, \tag{8}$$

а, если $a_2 \leq \frac{a_1^2}{4}$, то система уравнений (6) имеет два решения:

$$\sigma_1 = -\frac{a_1}{2} - \sqrt{-\left(a_2 - \frac{a_1^2}{4}\right)}, \quad \omega_1 = 0 \tag{9}$$

и

$$\sigma_2 = -\frac{a_1}{2} + \sqrt{-\left(a_2 - \frac{a_1^2}{4}\right)}, \quad \omega_2 = 0. \tag{10}$$

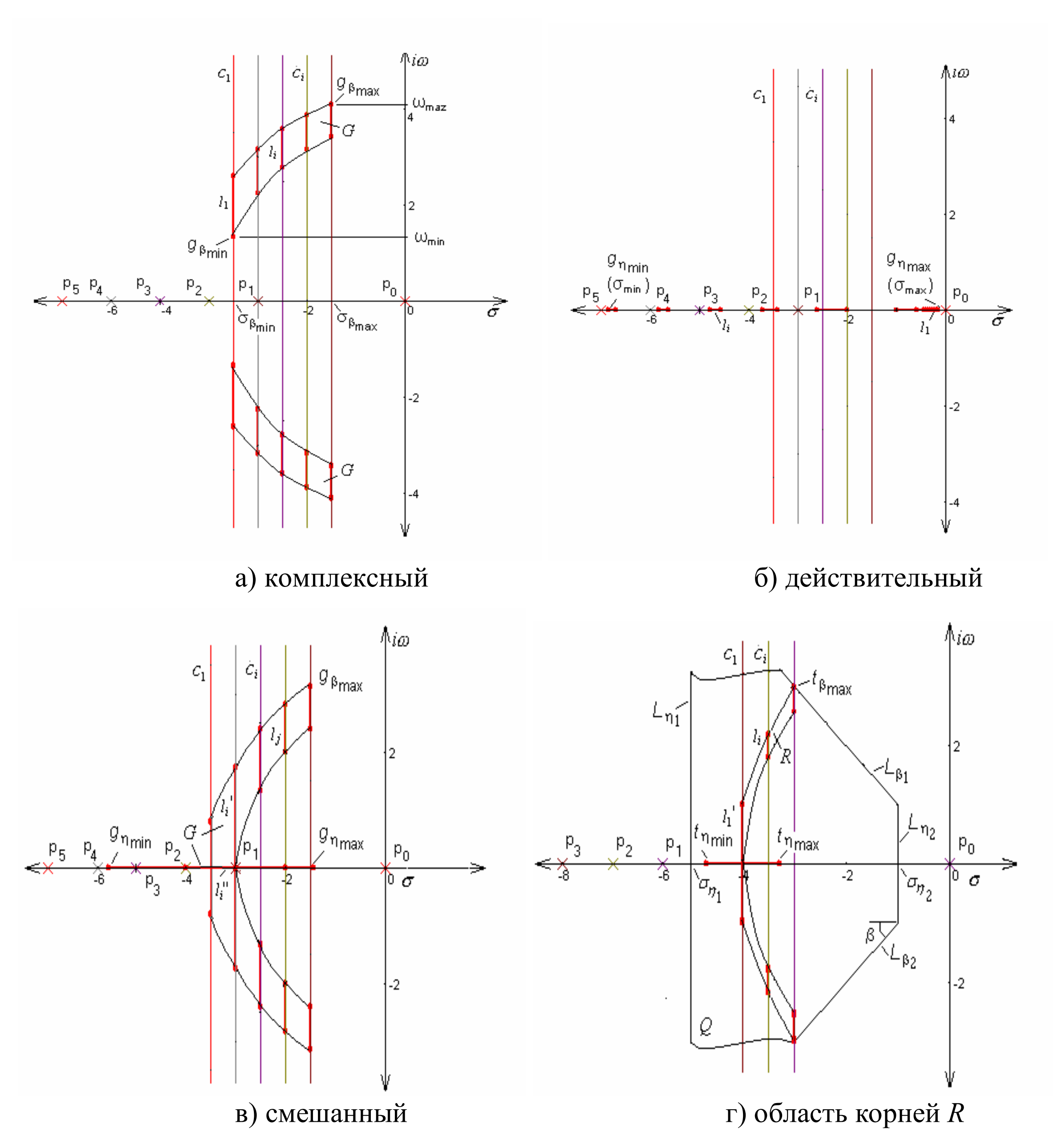
Формулы (7) – (10) позволяют вычислить координаты точек корневого портрета в плоскости корней s, соответствующих заданным значениям *параметра годографа* [3]. Применим их для нахождения фактической (гарантированной) области G расположения корней (семейства корней) рассматриваемой системы с интервальной неопределенностью.

Вначале подробно рассмотрим *свободные корневые портреты* [3] различных типов конфигураций для заданных систем (рис. 1а – 1г), основываясь на полученных аналитических выражениях (4) – (10) и результатах исследования графических портретов.

Описание корневых портретов систем. Прежде всего, отметим, что для системы второго порядка корневой портрет представляет собой *поле корневых траекторий* [3] (рис. 1а – 1г) с варьируемыми в заданных пределах значениями параметров a_1 и a_2. Это поле определяется линиями уровня [3] l_i, $i = 1, 2, \ldots,$ – корневыми траекториями (например, утолщенные линии $l_1, \ldots, l_i, \ldots$ на рис. 1а – 1г). Каждая линия уровня l_i в общем случае (рис. 1с) является комбинированной, т.е. состоит из действительной l_i’’ и комплексной l_i’ частей (исходя из выражений (7) – (10)). Определяемая выражениями (7) и (8) комплексная часть портрета представлена вертикальными параллельными друг другу линиями уровня l_i или l_i’ (например, линии $l_1, \ldots, l_i, \ldots$ на рис. 1а, линии l_j, l_i’ на рис. 1в, ($j = 1, 2, \ldots$)), которые по направлению совпадают с *асимптотами* [3] годографов портрета (линии $c_1, \ldots, c_i, \ldots$ на рис. 1а – 1г) и в общем случае могут переходить на действительную ось σ (рис. 1в), формируя таким образом описываемую выражениями (9) и (10) действительную часть портрета (например, линии $l_1, \ldots, l_i, \ldots$ на рис. 1б, линии l_i’’ на рис. 1в). Крестиками и буквами p с индексами на рассмотренных рисунках обозначены *начальные точки годографов* [3] портрета.

Расположение линий уровня на корневом портрете определяется значениями параметра a_1 из заданного интервала. При этом каждой линии уровня соответствует определенное значение параметра a_1. Увеличение a_1 приводит к смещению линии уровня влево, что аналитически подтверждается первым уравнением системы (4).

Расположение точек портрета на линиях уровня (ветвях корневых годографов) определяется значениями параметра a_2, который является параметром траекторий и изменяется вдоль ветвей годографов от 0 в начальных точках годографов до ∞.



а) комплексный б) действительный

в) смешанный г) область корней R

Рисунок 1 – Основные типы корневых портретов

На основании вышеизложенных особенностей конфигурации корневого портрета и выражений (7) и (8) запишем для корневого портрета соответственно минимально (ω_{min}) и максимально (ω_{max}) возможные значения координаты ω:

$$\omega_{min} = \inf W = \sqrt{\underline{a}_2 - \frac{\overline{a}_1^2}{4}}, \tag{11}$$

$$\omega_{max} = \sup W = \sqrt{\overline{a}_2 - \frac{\underline{a}_1^2}{4}}, \tag{12}$$

где W – множество координат ω точек корневого портрета, вычисляемых по формуле (8), $W = \{\omega_2\}$.

На основании вышеизложенных особенностей корневого портрета и выражений (9) и (10) запишем для корневого портрета соответственно минимально (σ_{min}) и максимально (σ_{max}) возможные значения координаты σ:

$$\sigma_{min} = \inf \Omega_1 = -\overline{a}_1/2 - \sqrt{-(\underline{a}_2 - \overline{a}_1^2/4)}\,, \qquad (13)$$

$$\sigma_{max} = \sup \Omega_2 = -\overline{a}_1/2 + \sqrt{-(\underline{a}_2 - \overline{a}_1^2/4)}\,, \qquad (14)$$

где Ω_1 и Ω_2 – соответственно, множества координат σ_1 и σ_2 точек корневого портрета, вычисляемых по формулам (9) и (10), $\Omega_1 = \{\sigma_1\}$, $\Omega_2 = \{\sigma_2\}$.

В выражении (14) значение a_1 принято равным $\overline{a}_1$ ($a_1 = \overline{a}_1$), поскольку здесь σ_{max} всегда либо отрицательно, либо равно нулю, а $\lim\limits_{a_1 \to \infty} \sigma_{max} = 0$.

Варианты конфигурации портретов. Рассмотрим возможные варианты конфигурации свободных корневых портретов данной интервальной системы. Чтобы определить их, запишем дискриминант решения уравнения (1), приравняв его нулю:

$$a_1^2/4 - a_2 = 0. \qquad (15)$$

Используя (15), выделим следующие основные типы корневых портретов:

1) портрет на комплексной плоскости, формируемый при $\underline{a}_2 > \overline{a}_1^2/4$ (рис. 1а);

2) граничный портрет на комплексной плоскости, формируемый при $\underline{a}_2 \geq \overline{a}_1^2/4$;

3) действительный портрет, формируемый при $\overline{a}_2 < \underline{a}_1^2/4$ (рис. 1б);

4) граничный действительный портрет, формируемый при $\overline{a}_2 \leq \underline{a}_1^2/4$;

5) смешанный портрет, формируемый при $\underline{a}_2 < \overline{a}_1^2/4$ и $\overline{a}_2 > \underline{a}_1^2/4$ или других сочетаниях, отличных от указанных в пунктах 1 – 4 (рис. 3с).

Исходя из рассмотренных выше закономерностей конфигурации корневых портретов систем и приведенных выше типов портретов, определим границы области G по типам корневых портретов следующим образом:

– для портретов типов 1 и 2 предельными точками $g_{\beta_{min}}(\sigma_{\beta_{min}}, \omega_{\beta_{min}})$ и $g_{\beta_{max}}(\sigma_{\beta_{max}}, \omega_{\beta_{max}})$ этой области, которые соответствуют предельным значениям (минимальному, $\sigma_{\beta_{min}}$ и $\omega_{\beta_{min}}$, и максимальному, $\sigma_{\beta_{max}}$ и $\omega_{\beta_{max}}$) координат σ (по горизонтали) и ω (по вертикали) точек корневого портрета (рис. 1а);

– для портретов типов 3 и 4 предельными точками $g_{\eta_{min}}(\sigma_{\eta_{min}}, \omega_{\eta_{min}})$ и $g_{\eta_{max}}(\sigma_{\eta_{max}}, \omega_{\eta_{max}})$ этой области, которые соответствуют предельным значениям (минимальному, $\sigma_{\eta_{min}}$ и $\omega_{\eta_{min}}$, и максимальному, $\sigma_{\eta_{max}}$ и $\omega_{\eta_{max}}$) координат σ (по горизонтали) и ω (по вертикали) точек корневого портрета (рис. 1б);

– для портретов типа 5, которые представляют собой совокупность портретов предыдущих типов, предельными точками $g_{\beta_{max}}(\sigma_{\beta_{max}}, \omega_{\beta_{max}})$ и $g_{\eta_{min}}(\sigma_{\eta_{min}}, \omega_{\eta_{min}})$, $g_{\eta_{max}}(\sigma_{\eta_{max}}, \omega_{\eta_{max}})$ (рис. 1с).

Теперь рассмотрим каждый из типов портретов отдельно. Особенностью портрета типа 1 является расположение всех его годографов в комплексной плоскости корней s (рис. 1а). На рис. 1а годографы портрета, формирующие область G, представлены утолщенными участками (интервалами) l_1, …, l_i, … вертикальных линий, соответствующими заданному интервалу изменения a_2. Границы локализации этого портрета в плоскости s

определяются граничными точками $g_{\beta_{min}}$ $(\sigma_{\beta_{min}}, \omega_{\beta_{min}})$ и $g_{\beta_{max}}$ $(\sigma_{\beta_{max}}, \omega_{\beta_{max}})$, где $\omega_{\beta_{min}} = \omega_{min}$, $\omega_{\beta_{max}} = \omega_{maz}$, $\sigma_{\beta_{min}}$ и $\sigma_{\beta_{max}}$ находятся по формуле (8). Портрет типа 2 аналогичен предыдущему, но содержит один годограф в комплексной плоскости, который нижней граничной точкой $g_{\beta_{min}}$ касается действительной оси. Портрет типа 3 полностью расположен на действительной оси (рис. 1б). Его граничные точки $g_{\eta_{min}}$ $(\sigma_{\eta_{min}}, \omega_{\eta_{min}})$ и $g_{\eta_{max}}$ $(\sigma_{\eta_{max}}, \omega_{\eta_{max}})$, где $\sigma_{\eta_{min}} = \sigma_{min}$ и $\sigma_{\eta_{max}} = \sigma_{max}$, находятся на действительной оси; $\omega_{\eta_{min}} = \omega_{\eta_{max}} = 0$. Годографы портрета показаны утолщенными отрезками $l, \ldots, l_i$, совпадающими с действительной осью σ. В семействе годографов портрета типа 4 имеется один годограф с точкой касания вертикальной асимптоты. Портрет типа 5 включает годографы, имеющие как комплексные, так и действительные ветви (рис. 1в). Его границы определяются по горизонтали точками $g_{\eta_{min}}$, $g_{\eta_{max}}$, а по вертикали – точкой $g_{\beta_{max}}$.

Определим гарантированную область расположения корней для портретов рассмотренных выше пяти типов.

Гарантированная область расположения корней заданной системы. Эта область определяется для каждого типа портретов отдельно.

Портреты типов 1 и 2. Основываясь на полученных выше выражениях (7) и (8), запишем формулы для вычисления координат граничных точек корневого портрета:

$$\sigma_{min} = -\bar{a}_1/2, \tag{16}$$

$$\sigma_{max} = -\underline{a}_1/2, \tag{17}$$

$$\omega_{min} = \sqrt{\underline{a}_2 - \bar{a}_1^2/4}, \tag{18}$$

$$\omega_{max} = \sqrt{\bar{a}_2 - \underline{a}_1^2/4}. \tag{19}$$

Выражения (18) и (19) приведены для верхней полуплоскости *s*.

Портреты типов 3 и 4. С помощью выражений (9) и (10) можно определить:

$$\sigma_{min} = -\bar{a}_1/2 - \sqrt{-(\underline{a}_2 - \bar{a}_1^2/4)}, \tag{20}$$

$$\sigma_{max} = -\bar{a}_1/2 + \sqrt{-(\underline{a}_2 - \bar{a}_1^2/4)}, \tag{21}$$

$$\omega_{min} = \omega_{max} = 0. \tag{22}$$

Портрет типа 5. Границы гарантированной области корней определяются с учетом выражений (16) – (22):

$$\sigma_{min} = -\bar{a}_1/2 - \sqrt{-(\underline{a}_2 - \bar{a}_1^2/4)}, \tag{23}$$

$$\sigma_{max} = -\bar{a}_1/2 + \sqrt{-(\underline{a}_2 - \bar{a}_1^2/4)}, \tag{24}$$

$$\omega_{min} = \sqrt{\underline{a}_2 - \bar{a}_1^2/4}, \tag{25}$$

$$\omega_{max} = \sqrt{\bar{a}_2 - \underline{a}_1^2/4}. \tag{26}$$

Выражения (25) и (26) даны для верхней полуплоскости. Гарантированные области *G* показаны на рис. 1а и 1с.

Далее с учетом гарантированной области *G* рассмотрим особенности размещения корней в области *Q*-устойчивости.

Размещение семейства корней в заданной области Q

На рис. 1г показана заданная область Q расположения корней системы в форме трапеции, ограниченная вертикальными линиями $L_{\eta 1}$ и $L_{\eta 2}$ равной степени устойчивости, которые описываются уравнениями

$$\sigma = \sigma_{\eta 1}, \tag{27}$$

$$\sigma = \sigma_{\eta 2}, \tag{28}$$

и линиями $L_{\beta 1}$ и $L_{\beta 2}$ постоянного демпфирования, описываемыми уравнением

$$\omega = \pm\ \sigma \mathrm{tg}\beta. \tag{29}$$

Поскольку линии $L_{\beta 1}$ и $L_{\beta 2}$ расположены симметрично относительно действительной оси, то в дальнейшем будем рассматривать только $L_{\beta 1}$.

Если гарантированная область G расположения корней выходит за пределы области Q, что можно определить графически или аналитически с использованием формул (16) – (26), то требуется скорректировать G таким образом, чтобы она всегда оставалась в пределах границ области Q. С этой целью необходимо определить координаты граничных (критических) точек искомой области корней $R \subseteq Q$. В общем случае (тип портрета 5) с учетом установленных выше закономерностей конфигурации рассматриваемого портрета такие критические точки определяются как точки

$$t_{\beta\,\min}\,(\sigma_{\beta 1},\ \omega_{\min}),\ t_{\beta\,\max}\,(\sigma_{\beta 2},\ \omega_{\max}),$$

ограничивающие *вертикальное расположение* R, а также

$$t_{\eta\,\min}\,(\sigma_{\min},\ \omega_{\eta 1} = 0) \text{ и } t_{\eta\,\max}\,(\sigma_{\max},\ \omega_{\eta 2} = 0), \tag{30}$$

ограничивающие *расположение R по горизонтали* (в данном общем случае $t_{\eta\,\min}$ и $t_{\eta\,\max}$ находятся на действительной оси – рис. 1г).

Синтезируем портрет типа 5, учитывая полученные ограничения на расположение корней. Для этого определим, какими должны быть границы области R и интервалы значений коэффициентов a_1 и a_2 уравнения (1), при которых обеспечивается размещение всего семейства его корней в области Q. С этой целью вначале определим границы интервалов изменения коэффициента a_1.

Границы изменения параметра a_1. Запишем уравнения граничных вертикальных асимптот [3]:

$$\sigma_{\eta 2} = -\underline{a}_1/2, \tag{31}$$

$$\sigma_{\eta 1} = -\overline{a}_1/2. \tag{32}$$

Из (31) и (32) получим условия

$$\underline{a}_1 > 2\sigma_{\eta 2}, \tag{33}$$

$$\overline{a}_1 < 2\sigma_{\eta 1}, \tag{34}$$

которым должны удовлетворять граничные значения интервалов коэффициента a_1 для обеспечения размещения семейства R корней системы в заданной области качества Q, ограниченной линиями $L_{\eta 1}$ и $L_{\eta 2}$. Условия (33) и (34) гарантируют расположение семейства вертикальных асимптот корневого портрета системы в области, ограниченной линиями (27), (28). При $\underline{a}_1 = 2\sigma_{\eta 2}$ корневой годограф системы совпадает с границей (28)

области качества, а при $\bar{a}_1 = 2\sigma_{\eta 1}$ – с границей (27) этой области. В результате граничные значения интервалов a_1 можно назначать, исходя из следующих условий:

$$\underline{a}_1 = 2\,[\sigma_{\eta 2} + 1/4(\sigma_{\eta 1} - \sigma_{\eta 2})], \qquad (35)$$

$$\bar{a}_1 = 2\,[\sigma_{\eta 2} + 3/4(\sigma_{\eta 1} - \sigma_{\eta 2})], \qquad (36)$$

приняв

$$\sigma_{\beta 1} = -\,\bar{a}_1/2 = \sigma_{\eta 2} + 3/4(\sigma_{\eta 1} - \sigma_{\eta 2}), \qquad (37)$$

$$\sigma_{\beta 2} = -\,\underline{a}_1/2 = \sigma_{\eta 2} + 1/4(\sigma_{\eta 1} - \sigma_{\eta 2}). \qquad (38)$$

Определение координат точек $t_{\beta\,min}$ и $t_{\beta\,max}$, ограничивающих область корней R по вертикали. Исходя из (29) и учитывая особенности конфигурации портретов, найдем координаты ω_{min} и ω_{max} точек $t_{\beta\,min}$ и $t_{\beta\,max}$ по формулам

$$\omega_{min} = 0, \qquad (39)$$

$$\omega_{max} = \pm\sigma_{\beta 2}\mathrm{tg}\beta, \qquad (40)$$

где $\sigma_{\beta 1} = -\,\bar{a}_1/2$ и $\sigma_{\beta 2} = -\,\underline{a}_1/2$ определяем согласно формулам (37) и (38).

В результате с учетом (38), (40) можно вычислить координаты $\sigma = \sigma_{\beta 2}$ и $\omega = \omega_{max}$ экстремальной точки $t_{\beta\,max}$ $(\sigma_{\beta 2}, \omega_{max})$ искомой области R, ограничивающей расположение корней по вертикали. Соответствующие значения границ интервала для a_1 определены по формулам (35), (36).

Далее определим границы интервала изменения коэффициента a_2 для выявления Q-устойчивости рассматриваемого семейства.

Границы изменения параметра a_2. *Определение координат точек $t_{\eta\,min}$ $(\sigma_{min}, \omega_{\eta 1})$ и $t_{\eta\,max}$ $(\sigma_{max}, \omega_{\eta 2})$, ограничивающих область корней R по горизонтали.* Учитывая рассмотренные выше особенности конфигурации портретов, запишем следующие равенства:

$$\sigma_{min} = \sigma_{\eta 1}, \qquad (41)$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{\eta 2}, \qquad (42)$$

$$\omega_{\eta 2} = 0, \qquad (43)$$

$$\omega_{\eta 1} = 0, \qquad (44)$$

которые определяют координаты σ и ω граничных точек $t_{\beta\,min}$, $t_{\beta\,max}$ и $t_{\eta\,min}$, $t_{\eta\,max}$ искомой области R размещения корней.

Определение значений границ a_2. Используя равенства (35) – (44) и выражения (4), (9), (10) с целью обеспечения желаемого расположения семейства корней системы (1) установим предельно допустимые границы интервала неопределенности коэффициента a_2. Для этого определим значение $a_2 = a_{2_\beta}$ в точке $t_{\beta\,max}$:

$$a_{2max} = a_{2_\beta} = \omega_{max}^2 - \sigma_{\beta 2}^2 - \underline{a}_1\sigma_{\beta 2},$$

где ω_{max} находится по формуле (40), значение $a_2 = a_{2_\eta}'$ в точке $t_{\eta\,min}$:

$$a_2{'}_{min} = a_{2_\eta}' = -\,(\sigma_{\eta 1}^2 + \bar{a}_1\sigma_{\eta 1})$$

и значение $a_2 = a_{2_\eta}''$ в точке $t_{\eta\,max}$:

$$a_2{''}_{min} = a_{2_\eta}'' = -\,(\sigma_{\eta 2}^2 + \bar{a}_1\sigma_{\eta 2}).$$

Тогда с учетом выражений (9), (10) найдем нижнюю границу изменения a_2:

$$a_{2min} = a_{2_\eta} = \max\,\{a_2{'}_{min}, a_2{''}_{min}\}.$$

Согласно последним четырем формулам устанавливаются следующие новые границы интервала изменения параметра a_2:

$$\overline{a}_2 = a_{2\beta}, \tag{45}$$

$$\underline{a}_2 = a_{2\eta}. \tag{46}$$

Границы интервалов изменения коэффициентов, вычисляемые по формулам (35), (36) и (45), (46), обеспечивают размещение корневого портрета интервальной системы (1) (и соответственно области *R* ее корней) в пределах заданной области *Q*.

При использовании в структуре САУ ПИ-регуляторов, т.е. при повышении порядка системы для обеспечения желаемого качества функционирования объекта управления, может быть применен аналогичный подход.

Выводы

Разработан метод обеспечения робастной устойчивости и робастного качества САУ второго порядка с интервальной неопределенностью. Желаемые устойчивость и качество системы достигаются посредством размещения семейства ее корней в заданной области качества трапецеидальной формы.

Литература

1. Филаретов В.Ф. Разработка и исследование методов синтеза высокоточных систем управления сложными динамическими объектами в условиях параметрической неопределенности / В.Ф. Филаретов // Проблемы управления. – 2006. – № 4. – С. 9-19.
2. Несенчук А.А. Параметрический синтез системы управления электроприводом манипулятора с учетом неопределенности момента инерции нагрузки / А.А. Несенчук, В.Ф. Филаретов // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4. – С. 550-557.
3. Несенчук А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2005.

А.А. Несенчук, В.Ф. Філаретов

Розрахунок параметрів системи керування другого порядку, що задовольняє умовам робастної якості

У статті розглядається проблема забезпечення робастної стійкості і робастної якості динамічної системи другого порядку при умові інтервальної невизначеності коефіцієнтів її характеристичного рівняння. Задача розв’язується з використанням кореневих портретів шляхом розташування області *R* коренів системи у заданій в площині особистих частот області *Q* бажаного розташування коренів.

A.A. Nesenchuk, V.F. Filaretov

Calculating Parameters of the Second Order Control System Meeting the Requirements of Robust Quality

The paper considers the problem of ensuring robust stability and quality for the second order dynamic system provided the interval uncertainty of its characteristic equation coefficients. The task is solved with the root locus portraits application by placement of the system roots domain *R* within the given domain *Q* of the desirable roots location.

Статья поступила в редакцию 16.06.2009.